

Рис.3 – Фактичний та теоретичний обсяги перевезень підприємствами МЕТ України за 2008 р.

1.Крат В.І. Проблеми реформування міського електротранспорту // Комунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.17. – К.: Техніка, 1998. – С.18-35.

2.Левковець П.Р., Гедз Ю.М., Канарчук О.В., Кришан Г.Л., Сендак М.Д. Системна ефективність на транспорті. Методи, моделі і стратегії / За ред. П.Р.Левковця. – К.: НТУ, ІЕБТ, 2002. – 216 с.

3.Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.

4.Сайт Міністерства з питань житлово-комунального господарства <http://www.minjkg.gov.ua>.

5.Бережная Е.В., Бережной В.И. Математические методы моделирования экономических систем. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 432 с.

6.Колемаев В.А. Математическая экономика. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 240 с.

Отримано 12.01.2011

УДК 621.313.2-83

Л.В.ДУБИНЕЦЬ, Р.В.КРАСНОВ, Д.В.УСТИМЕНКО, А.В.ШАПОВАЛОВ
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПУСКУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ З УРАХУВАННЯМ ВИХРОВИХ СТРУМІВ

Показано перехідний процес при пуску двигуна компресора ДК-406 при навантаженні, що враховує змінний момент опору та дію вихрових струмів, які виникають в магнітопроводі двигуна. Наведено порівняльні залежності між пусковими струмами з урахуванням відповідних умов.

Показан переходной процесс пуска двигателя компрессора ДК-406 при нагрузке, которая учитывает переменный момент сопротивления и действие вихревых токов, возникающих в магнитопроводе двигателя. Приведены сравнительные зависимости между пусковыми токами с учетом соответствующих условий.

The transition is start the engine compressor unit electric ДК-406 at a load that takes into account the time variable resistance and effect eddy currents arising in magnetic motor has shown in this article. The comparative relationship between the inrush current for the appropriate conditions are given.

Ключові слова: електропривод, компресор, вихрові струми, перехідний процес.

Досвід експлуатації електрорухомого складу показує, що значна кількість двигунів (ДК 409) компресорів (ЕК-75) виходять з ладу у зв'язку з пробоем ізоляції обмоток. Останнім часом з'явилося багато публікацій, пов'язаних з даною проблемою [1-3]. Однією з причин цього є те, що захисні пристрої нечітко спрацьовують при перевантаженнях двигуна, особливо під час пуску. Відбувається інтенсивний перегрів ізоляції, її старіння та вихід із ладу.

Для дослідження перехідних процесів в електричних колах двигуна компресора, оцінки величини пускового струму та його тривалості розроблено математичну модель, що враховує не тільки важкі умови пуску компресора і стрибкоподібну зміну напруги живлення в межах ± 500 В, а й дію вихрових струмів. Для цього дослідження пропонується наступна математична модель [1, 2]:

$$\left. \begin{aligned} ir + L \frac{di}{dt} + C_E \Phi \omega + 2pw\sigma \frac{d\Phi}{dt} &= u \\ 1,23R_{m1}\Phi_1 + \Phi(R_{mk} - R_{m1}) + g_\mu \frac{d\Phi_1}{dt} &= w_\gamma i + F_{\text{НЛК}} \\ 5,29R_{m1}(\Phi - \Phi_1) + \Phi(R_{mk} - R_{m1}) + 0,477g_\mu \frac{d(\Phi - \Phi_1)}{dt} &= w_\gamma i + F_{\text{НЛК}} \\ (J_B + J_K) \frac{d\omega}{dt} &= C_M \Phi i - \left[M_{\text{СПОЧ}} + (M_{\text{СНОМ}} - M_{\text{СПОЧ}}) \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{НОМ}}} \right)^p \right] \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де i , r – струм та опір кола якоря двигуна відповідно; L – індуктивність електричного кола якоря; ω – частота обертання вала двигуна; u – напруга на затискачах двигуна; w – кількість витків котушки головних полюсів; w_γ – приведена кількість витків, що враховує дію реакції якоря; p – число пар полюсів; Φ , Φ_1 – магнітний потік головних полюсів і його основна гармоніка відповідно; $(\Phi - \Phi_1)$ – сумарний магнітний потік вищих гармонік головних полюсів; g_μ – магнітна індуктивність основної хвилі магнітного потоку головних полюсів; R_{m1} , R_{mk} – магнітні опори першої та k -ї ділянки апроксимованої магнітної характеристики головних полюсів відповідно; $F_{\text{НЛК}}$ – намагнічуюча сила нелінійності, що враховує нелінійність магнітної характеристики головних полюсів для k -ї ділянки; σ – коефіцієнт розсію-

вання головних полюсів; J – приведений до валу двигуна момент інерції механічних частин системи; C_E , C_M – сталі двигуна.

Оскільки магнітна характеристика тягового двигуна має нелінійний вигляд, то можна, з достатньою для практичних цілей точністю, врахувати вплив насиченості машини, якщо апроксимувати криволінійну характеристику за допомогою ломаної лінії (рис.1).

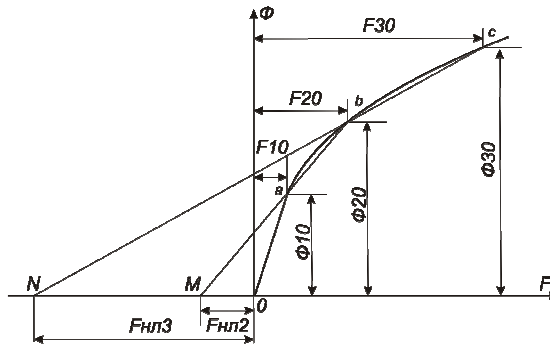


Рис.1 – Апроксимація кривої намагнічування

Значення основних параметрів системи, що розглядається: $L = 0,831$ Гн, $r = 33,76$ Ом, $\Phi = 0,1045$ Вб, $g_\mu = 7961$ См, $w = 580$, $R_{m1} = 21431,7$ Гн⁻¹, $J_B = 0,09$ кг·м².

Відомо, що всі сили і моменти навантаження, прикладені до механічної частини електропривода, можна розділити на сили та моменти механічних втрат ΔM_Σ і сили та моменти, які є корисним навантаженням виконавчого механізму $M_{\text{КОРС}}$:

$$M_C = \Delta M_\Sigma + M_{\text{КОРС}}. \quad (2)$$

Момент механічних втрат ΔM_Σ враховує всі види механічного тертя. Корисний момент опору $M_{\text{КОРС}}$ представляє собою ту чи іншу функцію швидкості, залежно від виду навантаження. Для аналізу механізмів, що здійснюють обертовий рух, пропонується використовувати емпіричну формулу Бланка [3], яка в більшості випадків представляє собою деяку ідеалізацію реальних умов, але дає задовільне наближення до дійсності:

$$M_C = M_{\text{СПОЧ}} + (M_{\text{СНОМ}} - M_{\text{СПОЧ}}) \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{НОМ}}} \right)^p, \quad (3)$$

де $M_{\text{СНОМ}}$ – номінальний момент опору механізму; $\omega_{\text{НОМ}}$ – номінальна кутова швидкість, при якій момент опору рівний номінальному; $M_{\text{СПОЧ}}$ – момент тертя або холостого ходу машини; p – показник степені ($p=1$ для поршневих компресорів).

До другого рівняння системи диференціальних рівнянь (1) входить величина приведенного до валу двигуна моменту інерції J механічних частин електроприводу. Основним елементом поршневого компресора є кривошипно-шатунний механізм, момент інерції якого залежить від кута повороту вала і з урахуванням кінематичної схеми (рис.2) можна записати рівнянням [4]

$$J_K = \frac{mR^2 \cdot \sin^2(\alpha + \beta)}{\cos^2 \beta}, \quad (4)$$

де m – маса елементів механізму, що поступально рухаються; R – радіус обертання кривошипа.

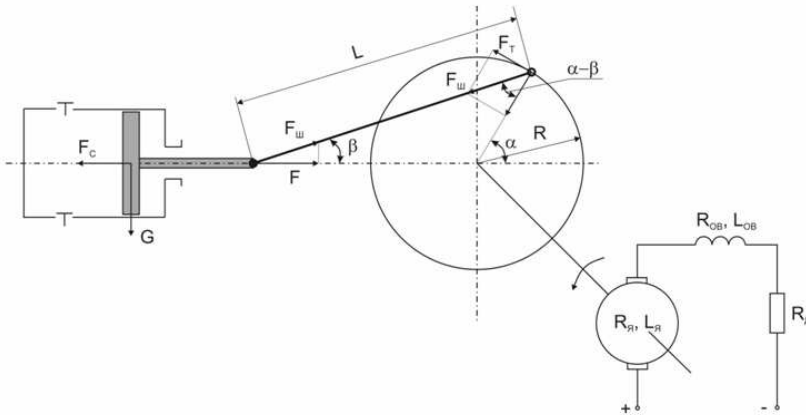


Рис.2 – Електромеханічна система двигун постійного струму послідовного збудження – поршневий компресор

Кут β можна виразити як функцію кута α :

$$\beta = \arcsin\left(\frac{R}{L_{\text{Ш}}} \sin \alpha\right), \quad (5)$$

де $L_{\text{Ш}}$ – довжина шатуна.

Система рівнянь (1) з урахуванням виразів (2)-(5) описує динамі-

ку роботи електромеханічної системи двигун постійного струму послідовного збудження – поршневий компресор, і є його математичною моделлю.

На рис.3 наведено результати моделювання пуску компресора під навантаженням: крива 1 – з урахуванням дії вихрових струмів; крива 2 – без урахування. Умови, за яких отримано криві рис.3: $u = 1500$ В, $M_{\text{споч}} = 87$ Нм, $M_{\text{снорм}} = 58$ Нм, $\omega_{\text{ном}} = 106,8$ с⁻¹.

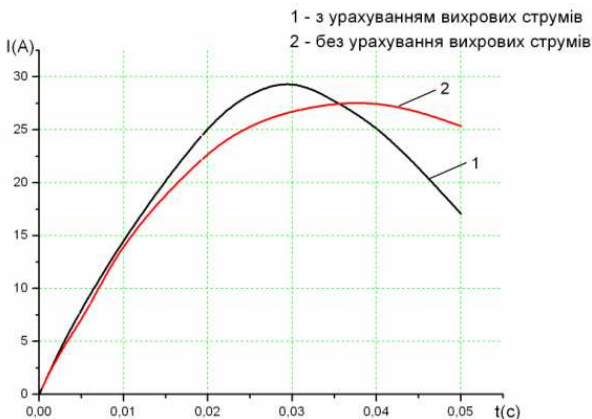


Рис.3 – Пуск при навантаженні двигуна ДК-406 з урахуванням і без урахування вихрових струмів

Вихровий струм, що виникає в магнітопроводі двигуна ДК-406 під час пуску, наведено на рис.4.

Аналіз отриманих перехідних характеристик свідчить, що при номінальному струмі двигуна 4,65 А кидок струму складає 28,3 А для кривої 1 і 26,7 А – для кривої 2 (рис.3). Різниця становить 1,6 А, або 5,7%. Крім того, швидкість наростання струму є більшою для моделі з урахуванням дії вихрових струмів. Крива 1 досягає максимуму за час 0,03 с, а крива 2 – 0,037 с. Різниця в цьому випадку – 0,007 с, або 18,9%. Тобто врахування в математичній моделі системи дії вихрових струмів дозволяє отримати більш точні перехідні характеристики, які краще корелюються з експериментальними даними.

Запропонована модель дозволяє отримати криві струму під час роботи електропривода в різних режимах, характерних для експлуатації, але не є аварійними. Модель та результати моделювання є вихідними даними для теплових розрахунків і визначення величин перегрівів частин електричної машини електропривода компресора.

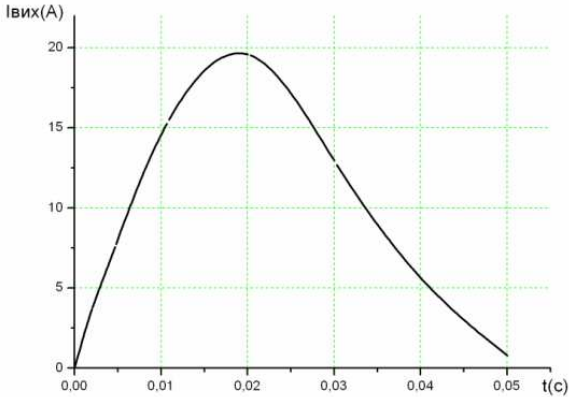


Рис. 4. – Вихровий струм двигуна ДК-406 під час пуску

1. Чорний О.П. Моделювання електромеханічних систем [Текст] / О. П. Чорний, А. В. Луговий, Д. Й. Родькін. – Кременчук, 2001. – 410 с.
2. Жиц М.З. Переходные процессы в машинах постоянного тока [Текст] / М. З. Жиц. – М.: Энергия, 1974. – 112 с.
3. Гладыр А.И. Трогание и пуск как фазы единого процесса / А. И. Гладыр // Научные труды КГПУ. – 2001. – Вип.1. – С.24-29.
4. Чиликин М. Г. Общий курс электропривода / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.

Отримано 10.01.2011

УДК 621.3

М.Я.ОСТРОВЕРХОВ, М.О.ОСТРОВЕРХОВ
 НТУУ «Київський політехнічний інститут»

ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ЛІНІЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З УРАХУВАННЯМ НАСИЧЕННЯ ТА КІНЦЕВИХ ЕФЕКТІВ

Розглянуто модель лінійного асинхронного двигуна з врахуванням насичення та кінцевих ефектів, розроблено уточнену його модель, яка придатна для встановлення законів частотного і векторного керування.

Рассмотрена модель линейного асинхронного двигателя с учетом насыщения и конечных эффектов, разработана уточненная его модель, которая пригодна для установления законов частотного и векторного управления.

The linear asynchronous engine model taking into account satiation and eventual effects is considered, also specified his model is developed, which is suitable for establishment of frequency and vectorial management laws.

Ключові слова: лінійний асинхронний двигун, електропривод, індуктивність, векторне керування, частотне керування.